

CO MŮŽEME NAJÍT V ZAPAŽENÝCH PRŮZKUMNÝCH VRTECH?

WHAT CAN WE FIND IN CASED EXPLORATORY BOREHOLES?

Abstract

The logging for engineering geology and hydrogeology doesn't belong to the sporadic applications of measurements in boreholes. We are sorry to state that a number of measured boreholes decreased after 1990s. In the last years a number of logged holes has a little increased again but it still hasn't reached the volume of the end of the eighties. The logging on the purpose of giving precision to the lithology and for the assessment of hydrogeological parameters is quite usual. The measurements in the cased holes are not routine programme and they cannot be considered as a systematic access. Nevertheless, such measurements bring a number of valuable pieces of information. Such loggings sometimes are realized intentionally; sometimes the measurements in cased boreholes bring results that surprise not only geophysicists but also geologists and drilling technicians. We can show you some examples of both types of measurements.

Úvod

V karotážní praxi se lze setkat s případy, kdy je nutné litologický charakter a porušení horninového masívu provrtávaného prostředí interpretovat ze záznamu v zapažených vrtech. Stejně tak býváme postaveni před otázkou, jak identifikovat různé poruchy ve vystrojení vrtu (například poruchy na ocelových pažnicích), kontrolovat výstroj z plastových materiálů, sledovat stav obsypů apod. Ne vždy geologové a geofyzici dostávají přesné údaje o stavu vrtu a o případných poruchách od vrtných firem respektive od vrtných techniků. Karotážní měření mohou takovéto poruchy velmi dobře identifikovat, a to i v případech kdy nebyly vůbec očekávány. Interpretace měření v zapažených vrtech nebo ve vrtných tyčích má svá specifika, která chceme v tomto příspěvku prezentovat. Některé karotážní práce v zapažených vrtech, jako je zjišťování přítoků vody do vrtů, její cirkulace včetně zapažnicové cirkulace, se řeší již po řadu let běžně pomocí komplexu hydrokarotážních metod (Mareš S. 1983, Lukeš J. 2005) a v této práci je neuvádíme. Chceme naopak poukázat na ne zcela běžná karotážní měření, které poskytují velmi dobré informace o vystrojení vrtu, poruchách výstroje a možnostech měření ve vrtných tyčích.

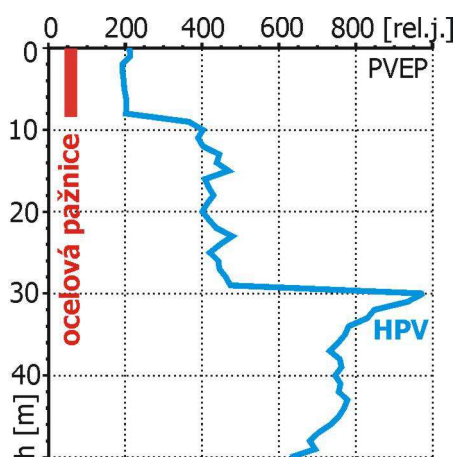
Kontrola stavu pažnic

Prakticky každý vrt, který má být nějakou dobu využíván pro další měření, musí mít chráněné ústí vrtu. K tomuto účelu se většinou používají různé dlouhé ocelové pažnice, které se do povrchových vrstev zabetonovávají. Při interpretaci některých kontrolních měření pak vyvstává otázka do jaké hloubky ochrana vrtu sahá. K těmto účelům by většina karotážníků volila metodu magnetické karotáže nebo zjišťování magnetické susceptibility. My bychom chtěli na počátek našich praktických příkladů uvést novou metodu, metodu sledování přirozeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole (PVEP). Na obr. 1 je ukázka z měření ve vrtu J301 na svahové deformaci Karolinka. Velký vliv na měřené elektromagnetické pole a jeho deformace má přítomnost elektronových vodičů. V našem případě tento fenomén představují především ochranné ocelové pažnice, které na svahových deformacích mohou změnit deformaci vrtu svahovým pohybem. Proto je vhodné délku a hloubku zapažení ocelové pažnice na počátku monitoringu zkontrolovat. Na křivce PVEP na vrtu J301 je tlumení elektromagnetického pole dobře patrné. Ocelová pažnice sahá do hloubky osmi metrů. Velikost elektromagnetického pole je v pažnicích snížena zhruba na jednu

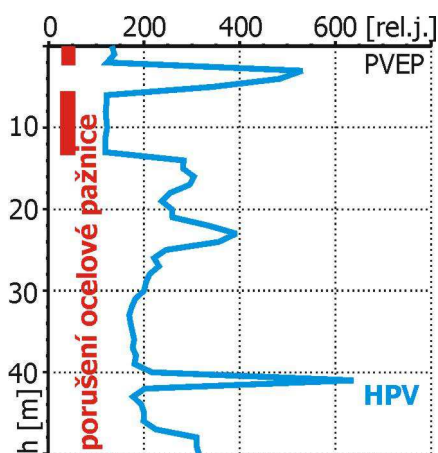
¹ Doc. RNDr., DrSc., GEOTest Brno, a.s., 28. října 287, Ostrava, 709 00, blaha@geotest.cz

² RNDr., CSc., Aquatest a.s., Praha, Geologická 4, Praha 5, 152 00, karotaz@aquatest.cz

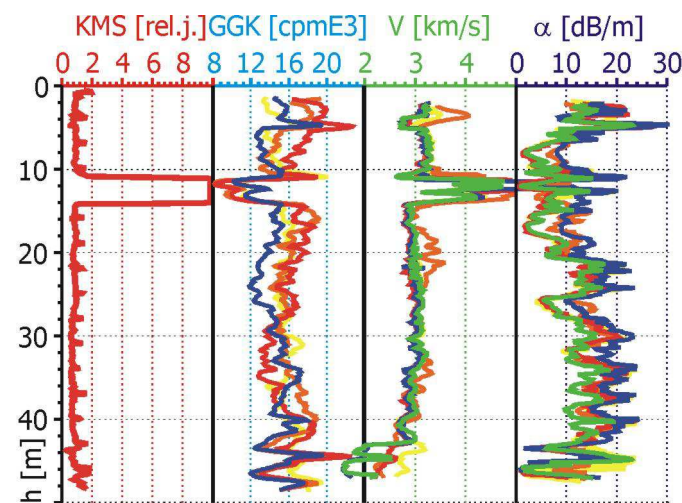
³ Prof. Ing. DrSc., Ústav geoniky AV ČR, Studentská 1768, Ostrava, 708 00, muller@ugn.cas.cz



Obr. 1 PVEP v ocelové pažnici



Obr. 2 "Přetržená" pažnice



Obr. 3 "Utržená pažnice" na komplexní karotáži

polovinu. V hloubce třiceti metrů velikost pole prudce narůstá a dosahuje prakticky až 1000 relativních jednotek. Tento nárůst je způsoben hladinou podzemní vody. Dále do hloubky se pole PVEP snižuje, ale jeho úroveň je stále vyšší než v suchém horninovém masívu. Křivky z opakovaných měření přirozeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole v tomto vrtu potvrdily tvar patrný na obrázku 1.

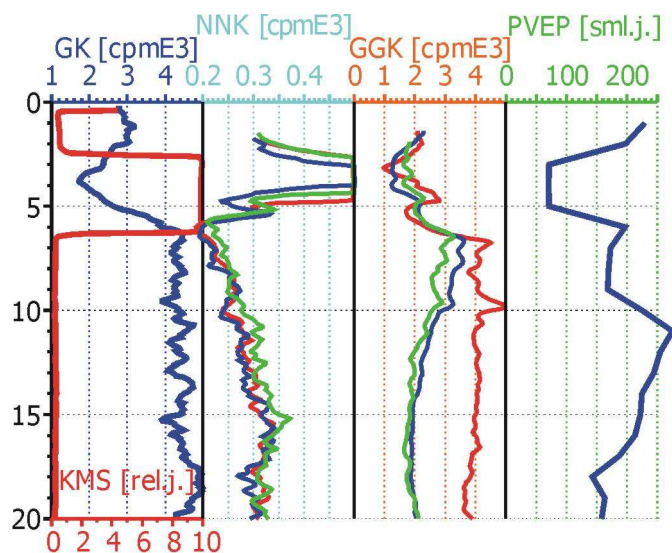
V případě, kdy ocelová ochranná pažnice sahá od povrchu do určité hloubky, není problémem její vliv metodou PVEP stanovit. Zajímavější je případ, kdy ocelová pažnice není z jednoho kusu. Na druhém obrázku je záznam z měření metodou PVEP ve vrtu J310 na stejné lokalitě. Je patrné, že v úseku dva až pět metrů došlo k přetržení pažnicové kolony. Obě části ocelové pažnice snižují pole PVEP, mezi minimy pak vzniká klamná anomálie. Jak se takovéto „zpevnění vrtu“ může například projevit na křivkách přesné inklinometrie je nabíle dni a interpretace geotechnických měření pak může být zcela zavádějící.

Další průběh pole PVEP je již typický pro měření touto metodou na svahových deformacích. Naměřené hodnoty PVEP s hloubkou mírně klesají a jedinou anomálií, kterou můžeme na sledované křivce vidět je ostré maximum v hloubce 41 metrů. Tato anomálie odpovídá hladině podzemní vody v horninovém masívu. Porovnáním s prvním obrázkem můžeme pozorovat, že projev HPV není vždy stejný a liší se na sesuvu místo od místa.

Zapadlé ocelové pažnice je možno identifikovat nejen metodou přirozeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole, ale i běžnými metodami karotáže, zejména metodou karotáže magnetické susceptibility (KMS), akustickou karotáží (AK), kdy výstupem je rychlost šíření vln V_p a útlum vlnění a metodami radionuklidovými (gama karotáží GK, gama-gama karotáží GGK, neutron-neutronovou karotáží NNK). Na obr. 3 jsou výsledky komplexu karotážních měření ve vrtu ve svahové deformaci Ujala, kdy před definitivním vystrojením vrtu inklinometrickými pažnicemi došlo při vytahování provozních ocelových pažnic k jejich rozšroubování. Pažnice o délce tři metry, která zůstala v hloubce 11 až 14 metrů, je jednoznačně identifikována nejen zvýšenou hodnotou na křivce

magnetické susceptibility, ale i zvýšenou objemovou hmotností na křivce gama-gama karotáže a zvýšením rychlosti podélných vln V_p na křivce akustické karotáže. Na křivce útlumu elastického vlnění nelze „utrženou“ pažnici jednoznačně interpretovat. Je třeba uvést, že informace o zapadlých pažnicích většinou v technických zprávách vrtného provozu chybí a častá odpověď na vznesený dotaz zní: „Nic nám ve vrtu nezůstalo.“ Uvedená karotážní měření takoveto „poruchy“ jednoznačně odhalují a tím přispívají k lepší znalosti prostředí a možnostem dokonalejší interpretace jak vlastních karotážních měření, tak i všech následných prací realizovaných v takovémto vrtu. Zajímavé jsou i drobné pravidelné anomálie na křivce magnetické susceptibility, které se opakují s intervalem tři metry. Jde o projev nýtovaných spojů plastových inklinometrických pažnic. Opakovaná měření karotážními metodami potvrzují výsledek interpretace. U černobílých obrázků je vždy uvedena jen jedna křivka, barevné obrázky jsou uvedeny na datovém nosiči v příloze časopisu.

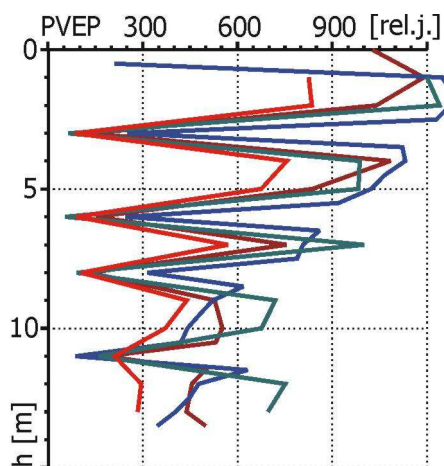
Obdobný případ jako na obrázku 3 je i na obrázku 4, kde jsou karotážní záznamy z vrtu DET1 na lokalitě Dětmárovice. Při odtěžování pracovní kolony na vrtu došlo zřejmě k rozšroubování



Obr. 4 "Utopená pažnice" na komplexní karotáži

úvodní ocelové pažnice a z vrtu byla vytažena jen její část. Zbytek je jednoznačně identifikován jak karotáží KMS, tak měření PVEP v úseku tři až šest metrů. Významné anomálie jsou i na křivce GK, GGK a NNK. Úzká symetrická anomálie na křivkách GGK a NNK se středem v hloubce cca pět a půl metru je pravděpodobně způsobena přítomností písčité vložky u báze kvartérních zemin. Určité změny na karotážních křivkách mohou být vyvolány i různou cementací za pažnicovou kolonou.

Jak již bylo uvedeno, přítomnost ocelových předmětů ve výstroji vrtu způsobuje významné zkreslení elektromagnetického pole. Na obr. 5 je ukázka měření z vrtu

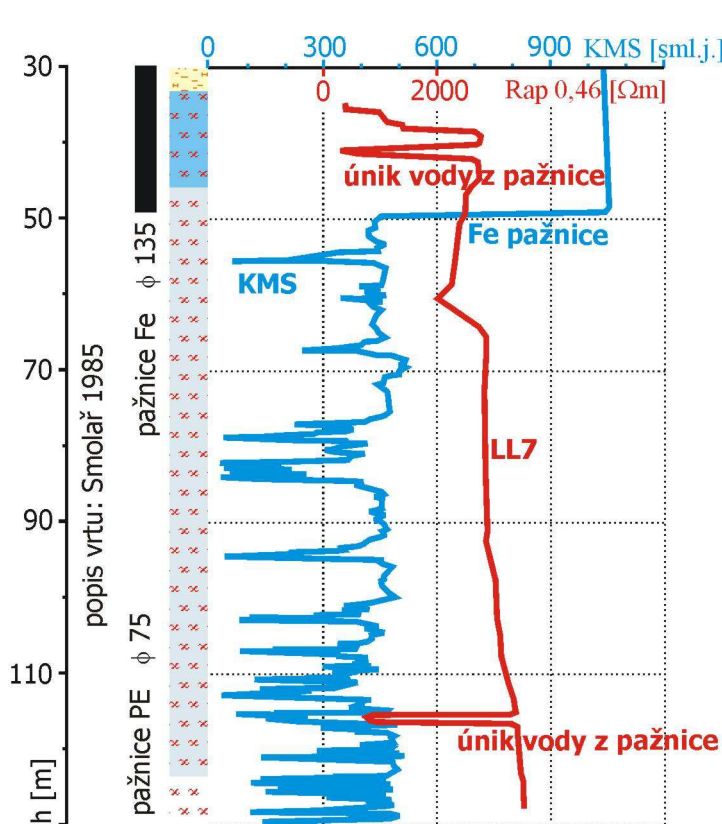


Obr. 5 Kovové spojky na pažnicích

HV5 na sesuvu Okružní v Orlové. V tomto případě byly plastové perforované pažnice v pozorovacím hydrogeologickém vrtu spojovány ocelovými spojkami. Jak takovýto způsob vystrojení zkreslí křivku PVEP, je z příkladu velmi dobře patrné. Ocelové spojky se vždy chovají jako tlumící prvek a dochází k prudkému časovému rozkolísání hodnot pole PVEP. Praktická měření pro řešení svahové problematiky (vymezení smykových ploch) nejsou možná, přestože vrt jako pozorovací pro sledování HPV slouží bez problémů. Mimo to se ještě zdá, že vrtná firma použila k vystrojování vrtů různých zbytků trubek, protože délka jednotlivých kusů pažnic je nejednotná.

Kontrola údajů o technickém stavu vrtu

Údaje o technickém stavu vrtu a tím o podmínkách ke karotážním měřením poskytují zápisy ve vrtném deníku respektive ústní údaje vrtních techniků. Dlouhodobé zkušenosti ukazují, že informace od vrtných firem je nutné ověřovat a provádět kontrolu dodaných informací a snažit se zjistit i další údaje o vrtu, které jsme od vrtařů nedostali. Průměr vrtu se kontroluje kavernometricky, cementace vrtu termometrickým měřením a metodami GKG a AK. Jak je z našich ukázek patrné, velmi cenné informace se získávají z karotáže magnetické susceptibility. V této části uvádíme jen některé zajímavé poznatky se kterými jsme se setkali v inženýrsko-geofyzikální praxi.



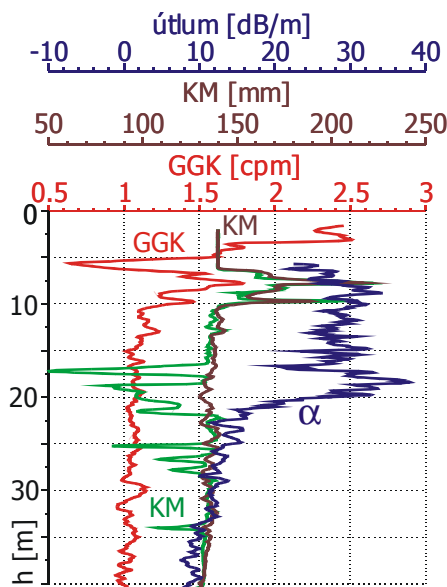
Obr. 6 Kontrola cementace a těsnosti kolony
(podle V. Valtra 1984)

vodotěsnost spoju jednotlivých částí speciální pažnicové kolony. Pažnicová kolona pro geoakustická měření musí být vodotěsná. Kontrolní měření těsnosti provedl V. Valtr laterologem a pokles zdánlivých měrných odporů znamená "průchod" proudu z pažnicové kolony do horninového masívu. V takovém místě dochází k porušení "stínícího" nevodivého efektu plastových výpažnic. Jedno takové porušení je možné interpretovat v hloubce cca 40 metrů, druhé v hloubce 115 metrů.

V levé části obrázku je dále uveden geologický profil vrtu a schéma jeho vystrojení. Je tak dokumentováno, že naměřené křivky karotáže magnetické susceptibility i laterologu nekorespondují se skutečným geologickým prostředím. Takováto kontrola pažnicových kolon se však v geologické praxi neujala. Je to dáno tím, že tato karotážní měření jsou poměrně drahá, a běžné náklady na jejich provedení prakticky ve všech případech překračují finanční možnosti investorů monitorovacích akcí. Je potřebné vědět, že takovéto metody existují a jsou k dispozici v případě nejasné interpretace geoakustických nebo přesných inklinometrických měření.

Zajímavý způsob měření v zapaženém vrtu provedl V. Valtr (1984) na vrtu JZ59 na lokalitě Jezerka. Do cementové kaše, kterou byl vyplňován prostor mezi stěnou vrtu a pažnicovou kolonou určenou pro měření přesné inklinometrie a geoakustiky, bylo přidáno určité množství čedičového prachu. Následným měřením karotáže magnetické susceptibility bylo možné sledovat, jak se podél vrtu mění množství injekční směsi v zapažnicovém prostoru. Všechna minima na křivkách KMS znamenají deficit cementové směsi a tím indikují nekvalitní provedení cementace zapažnicového prostoru. Dílčí minima je nutné charakterizovat jako jednotlivé dutiny. Nikde za pažnicemi se však nevytváří rozsáhlá kaverna, do které by mohlo dojít k vybočení pažnicové kolony.

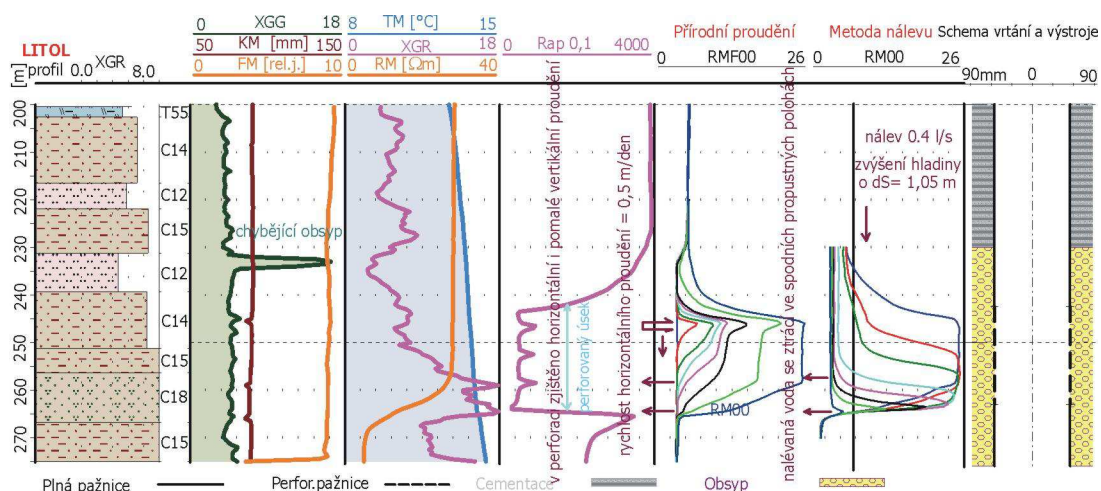
Při tomto měření autor uskutečnil ještě jeden zajímavý pokus, kterým sledoval



Obr. 7 Vliv bobtnání jílů

Na obr. 7 je ukázka karotážního měření ve vrtu DET1 Dětmarovice. Na tomto příkladě chceme upozornit zejména na kavnometrickou křivku, která byla měřena následující den po dokončení vrtu, a to jako vždy jako první měření z komplexu karotážních prací na vrtu. Okamžitě při měření byla na křivce KM zjištěna kaverna v úseku 6,2 až 10 metrů pod patou úvodní kolony. To je běžný průběh kavnometrické křivky, ale překvapení čekalo ve větších hloubkách. Byly zjištěny četné případy snížení průměru vrtu z původních 171 milimetrů až na 50 milimetrů (úseky 16,5 až 22 m a 25 až 28 m). Jednalo se zřejmě o bobtnání neogenních jíílů. Z naměřené křivky bylo okamžitě jasné, že za této situace nebylo možné v karotážním měření pokračovat. Proto bylo okamžitě přikročeno k obnově vrtu. Na křivce kontrolní kavnometrie, která byla zaměřena po kalibraci vrtu převrtáním vrtným nářadím původního průměru, je zřejmé, že zúžení vrtu bylo odstraněno a veškeré práce ve vrtu mohly dále pokračovat. Na fotodokumentaci vrtného jádra ani na geologickém popisu vrtu nejsou žádné indicie, které by napovídaly o možnostech bobtnání neogenních jíílů.

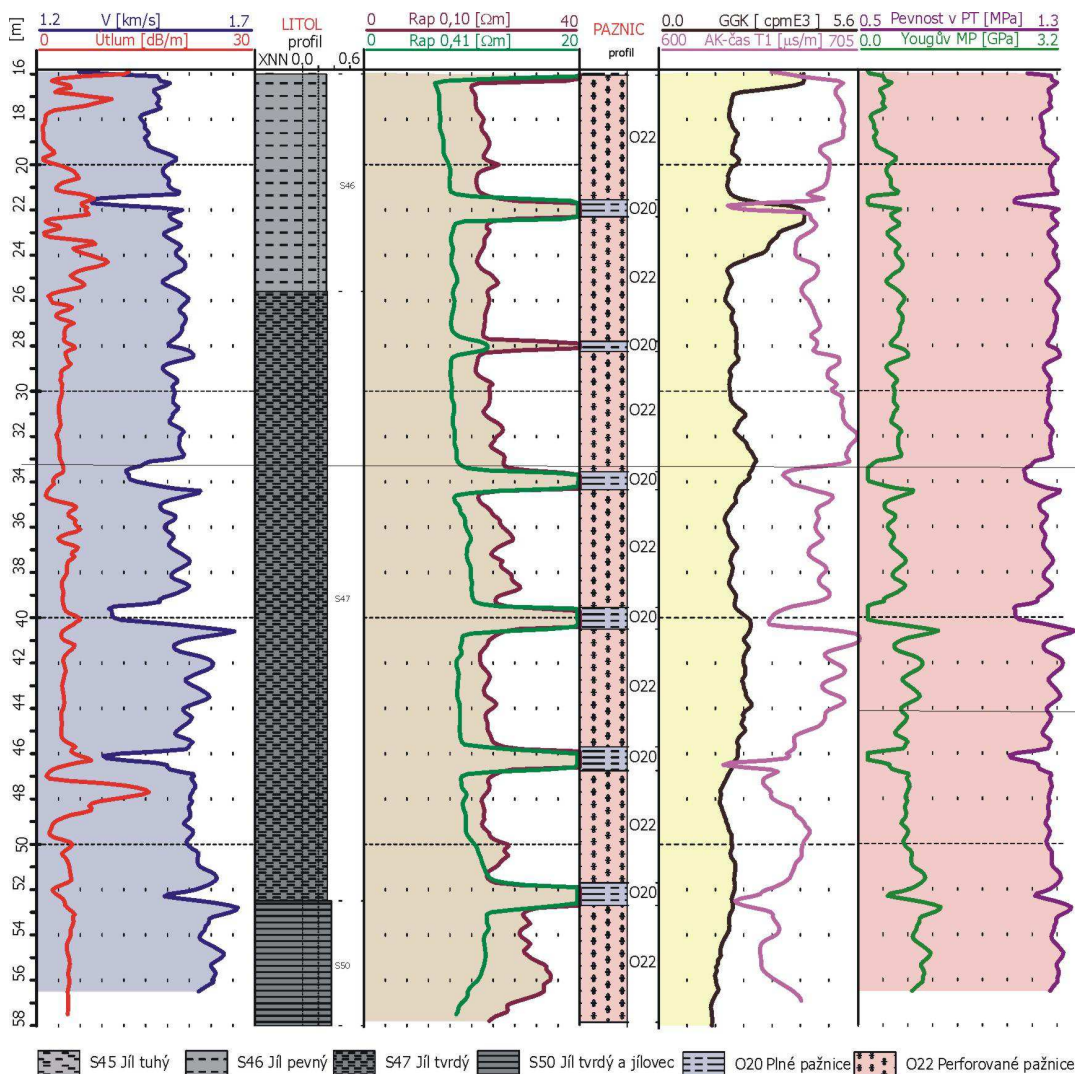
Jiným zajímavým případem sledování změny technického stavu vrtu je sednutí obsypu pod zacementovanou částí pažnicové kolony. Na obr. 8 je ukázka kontrolního měření z vrtu č. MIPC-12 na lokalitě Skelná huť. Ve vrtu bylo zjištěno horizontální proudění vody za přírodních podmínek. Z křivky gama-gama karotáže je patrné, že za pažnicemi na počátku perforovaných pažnic v úseku 232 až 234 metrů chybí obsyp. V úseku 245 až 265 metrů docházelo jak k horizontálnímu tak i vertikálnímu proudění vody, což vyplývá z hydrokarotážních křivek. Rychlost horizontálního proudění byla cca 0,5 m/den. Při nálevu o vydatnosti $Q = 0,4$ l/s byla spodní hranice propustné polohy v hloubce 265 metrů. Měření odporovou sondou dává v perforovaném úseku odhad o velikosti měrného odporu ve vodonosné vrstvě.



Obr. 8 Sednutí obsypu pod cementovou kolonou

Měření v pažnicích a vrtných tyčích

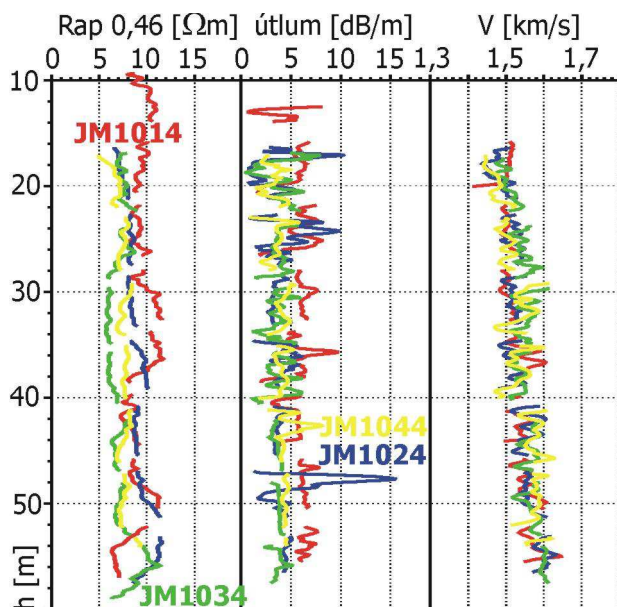
Poznávání geologie na konkrétních lokalitách je nezbytnou podmínkou pro další práce v zájmovém území. Nasazení co největšího počtu přímých i nepřímých metod nám umožňuje získat rozsáhlý soubor údajů, ze kterých pak můžeme vyvozovat potřebné podklady pro další práce. V některých případech nastávají takové okolnosti, které znemožňují klasický postup prací, a to jak karotážních měření, tak i dalších geofyzikálních měření v systému vrt - povrch. Jednou z takových okolností je nutnost bezprostředního zapažení vrtu po dokončení vrtných prací. V tomto případě se nevyhne tomu než měřit v zapaženém vrtu nebo i ve vrtných tyčích.



Obr. 9 Karotážní měření v perforovaných pažnicích

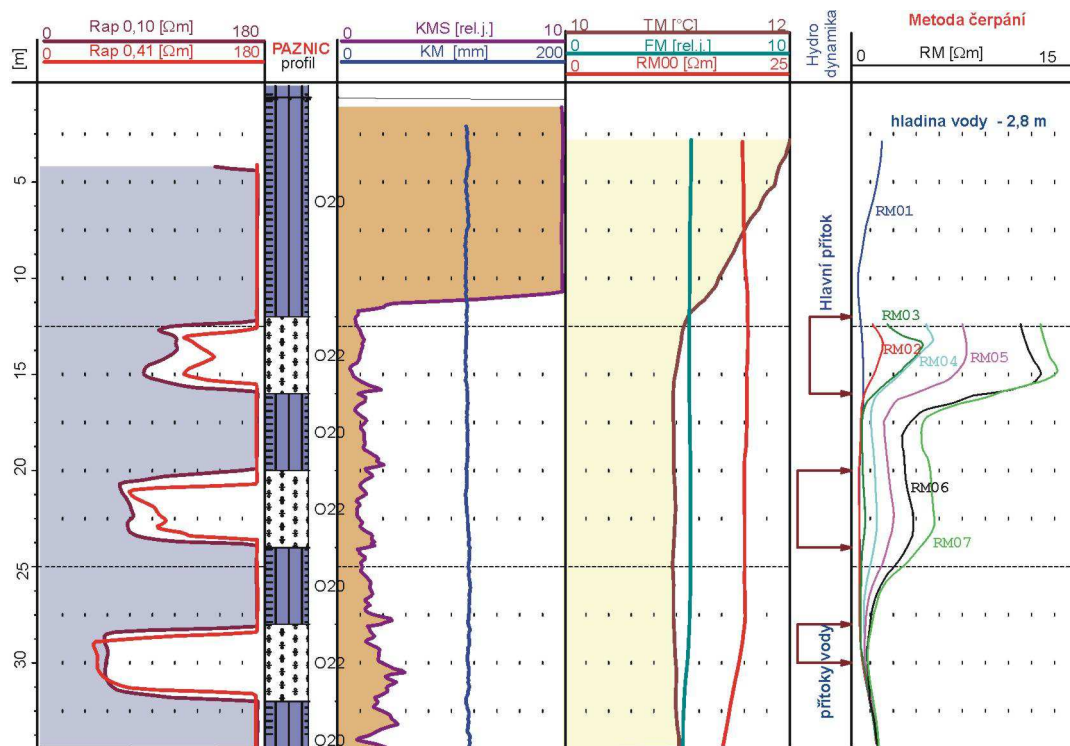
Dokonalé poznání horninového prostředí bylo nutné i při inženýrskogeologickém průzkumu pro tunel Dobrovského v Brně. Podívejme se podrobněji na karotážní měření v perforovaných plastových pažnicích ve vrtu JM1024 Brno (obr. 9). Perforované úseky pažnicové kolony lze velmi dobře identifikovat podle odporových karotážních měření. Na ukázce jsou i křivky zaměřené potenciálovými sondami Rap o délkách 0,10 a 0,41 m. Plné pažnice a přechody mezi perforovanými pažnicemi jsou charakterizovány vysokými hodnotami zdánlivých měrných odporů. Podle údajů,

kteřé získala při měření karotážní skupina byly pažnice



Obr. 10 Filtrované křivky ze čtyř vrtů

na vnějším obvodu spojovány ocelovými pásky, což se projevilo na akustické karotáži anomáliemi hlavně na křivkách T1. Naopak v místech spojů jednotlivých pažnic je na křivce rychlosti, určené z diferenčního času, patrný pokles rychlosti. Na obr. 10 jsou vyfiltrované křivky ze čtyř vrtů JM1014, JM1024, JM1034 a JM1044 z této lokality. Z křivek Rap nejsou patrné žádné identifikovatelné písčité vložky v jílech ani žádné další změny litologie. Je však zřejmý nárůst rychlostí V_p s hloubkou o cca 0,1 km/s na cca čtyřicetimetrovém úseku vrtu i nárůst koeficientu útluhu. Akustická karotáž je málo ovlivněna měřením v pažnicích, křivka rychlostí V_p velmi dobře reaguje na postupné zpevňování jílu s hloubkou. Podobný trend vývoje rychlostí jsme zjistili i seismickým prozařováním a jeho zpracováním seismickou tomografií.



Obr. 11 Měření ve "střídavých" pažnicích

LITOL

0 XNN 15

Hydrodynamika

Metoda čerpání

0 RM [Ωm] 60

po vytažení vrtných tyčí {vrt pro sondy neprůchodný!}

měření uvnitř tyčí

měření uvnitř tyčí

přítoky vody při čerpání

**RM při čerpání Q = 0,2 l/s
snížení hladiny
při čerpání o 2,2 m**

Legenda:

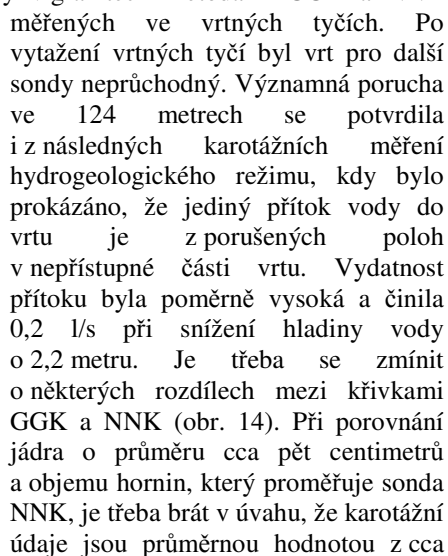
- Y46granit silně porušený
- Y47granit porušený
- Y48pegmatit
- Y49granit slabě porušený
- Y52granit aplitický porušený
- Y50granit neporušený
- Y51granit aplitický

Tabulka měření:

0	NNK [cpmE3]	16
0	GK [cpmE3]	20
0	Rw [Ωm]	90

0	Rap 0,10 [kΩm]	6	30	KM [mm]	130
0	Rap 0,41 [kΩm]	9	0	GGK [cpmE3]	4,5
0			0	FM [rel.1]	10

Složitější případ představují karotážní měření ve vrtech hloubených technologií wire-line o průměru 76 mm, kdy karotáž musela být prováděna z bezpečnostních důvodů uvnitř vrtných tyčí. Na vrtu MEL-3 (obr. 12) byly zjištěny výrazné poruchy v granelech metodami GKG a NNK



8

20 až 30 krát většího objemu hornin. Sonda GKG je přitlačována na vnitřní stěnu tyče a měří zhruba do vzdálenosti 20 cm v úzké výseči, protože zdroj gama záření je kolimován a stíněn tak, aby minimalizoval nepříznivý vliv průměru vrtu. Vzhledem k úzce směřovanému měření se na křivce GKG projevuje i nesymetrickost kaveren, která zejména u granitů může být vysoká. To vysvětluje i určitý rozpor mezi velikostmi anomálií NNK a GKG (detail na obr. 13). Podle NNK je největší anomálie v úseku 130 až 132 metrů, další anomálie ve 122,5 až 123,5 metrů, menší anomálie je ještě v intervalu 137,5 až 140 metrů. Podle GKG byla největší anomálie v horní porušené poloze 122,5 až 123,5 metru, menší ve 130 až 132 metrech a prakticky žádná v úseku 137,5 až 140 metrů. Z detailního rozboru křivek GKG a NNK vyplývá, že zatímco metoda GKG signalizuje kaverny respektive silné porušení masívu, metoda NNK umožňuje vymežit nejen kaverny a silné porušení, ale i intervaly rozpukání granitů (úsek 137,5 až 140 m). Toto tvrzení platí ještě více při měření „přes“ pažnice respektive „přes“ vrtné tyče, kdy stínící efekt trubek je silnější na objemovou hmotnost než na porozitu.

Závěr

Karotážní měření v zapažených různorodých vrtech nabývají v poslední době na významu. Tento způsob měření je možné rozdělit do dvou rozsáhlých skupin. První má za úkol upřesnit technický stav vrtu případně zjistit informace, které nejsou dostupné, respektive které vrtný provoz geologům nesdělí. Druhou skupinou jsou měření v těch případech, kdy z provozních důvodů není možné obnažit stěnu vrtu.

V některých inženýrskogeologických problémech ve vystrojených vrtech pokračují měření, i když nemůžeme konstatovat, že jsou to měření v pravém slova smyslu karotážní. Máme na mysli především měření přesné inklinometrie a měření sedání obsypu. Při interpretaci takovýchto geotechnických měření jsou údaje o cementové výplni nezbytné, bez nich nelze kvalitně geotechnická měření zpracovat a dovolují jednoznačnější závěry o dynamickém stavu horninového masívu. Totéž platí o případné přítomnosti ocelových trubek za plastovou pažnicovou kolonou.

K hledaným informacím o podmínkách měření v zapažených vrtech lze využít nejen běžně používané radionuklidové metody (GK, GKG a NNK) a akustickou karotáž, ale i metody využívané jen ojediněle jako je karotáž magnetické susceptibility a nově zaváděná metoda přirozeného vysokofrekvenčního elektromagnetického pole. Jen kombinace více metod umožňuje úplné poznání poměrů ve vrtu a tím interpretaci učinit věrohodnější.

Literatura

- [1] Bláha P., Duras R.: Časové rozložení elektromagnetických emisí., In: Laboratorní a terénní bádání v seismologii a inženýrské geofyzice, Ostrava, 2002, s. 261-272.
- [2] Lukeš J.: Methods of well logging used for correlation in Podlesí granite stock (Krušné hory Mts., Bohemian Massif). Bulletin of Czech Geol. Survey, v tisku.
- [3] Mareš S., et al: Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii., SNTL, Alfa, Praha, 1983.
- [4] Mareš S., Kelly W.E., Mazáč O.: "Applied geophysics in environmental engineering and science" Karolinum, Prague, p. 98, 1997.
- [5] Valtr V.: Jezerka sledování, zpráva o fyzikálním měření ve vrtech – první etapa., Geofyzika, Brno, 1984, MS.

